



Kent İçi Raylı Sistemlere Yeni Hat Entegrasyonunda İşletme Modellerinin Analizi

Mehmet CAN^{*1}, Nuran YÖRÜKEREN²

¹ Metro İstanbul A.Ş., İstanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul, Türkiye

² Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

*mehmetcan.mias@gmail.com

(Alınış/Received: 24.07.2020, Kabul/Accepted: 07.08.2020, Yayımlama/Published: 31.01.2021)

Öz: Günümüzde kent içi ulaşımda raylı sistem teknoloji ve imkanlarının sadece iyi bir alternatif olma görevini yitirdiği, aksine artan nüfus ve şehirleşme oranıyla beraber bu sistemlerin kentin verimli ve hızlı yolcu taşımacılığında optimum çözüm olduğu gerek yerel yönetimler gerekse kent popülasyonu tarafından bilinmektedir. Yolcu taşımacılığında hız, verimlilik, konfor gibi ana hedeflerle beraber sistemin güvenilirliği ve olası her koşulda işletme sürekliliğinin aksamaması büyük bir önem arz etmektedir. Uzun, karmaşık ve birbirleriyle entegre metro sistemlerinin her koşulda enerji altında olması ve süreklilik sağlaması esasen gereklidir. Bu çalışmada, İstanbul kent içi raylı sistem ulaşımında gelecekte yapılması öngörülen ve birden fazla metro hattı ile bütünleşecek örnek bir raylı sistem hattı ele alınmıştır. Modelleme ETAP yazılımı ile oluşturulup, mevcut ve yapımı tamamlanmak üzere olan diğer hatların gerçek verileri ışığında, entegrasyon sağlayacak şekilde, farklı işletme senaryoları oluşturularak planlanan hattın yük akışı ve kısa devre analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilirken önerilen senaryoların analizi, işletmenin sürekliliği, sistemin olası performansları incelenmiş ve teknik açıdan doğru, maliyeti azaltacak öneriler bulgular ile sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Raylı Sistemler, Yük Akışı Analizi, Kısa Devre Analizi, Model, ETAP.

Analysis of Operation Models in New Line Integration for Urban Rail Systems

Abstract: Today, it is known both by local governments and the city population that rail systems technology and facilities in urban transportation have lost their duty to be only a good alternative, but with the increasing population and urbanization rate, these systems are the optimum solution for efficient and fast passenger transportation of the city. Along with the main goals such as speed, efficiency and comfort in passenger transportation, the reliability of the system and the continuity of the operation under all possible conditions are of great importance. It is essential that long, complex and integrated metro systems be energized and sustained in all conditions. In this study, an exemplary rail system line that will be integrated with more than one metro line in the future in Istanbul is analysed. Modelling was created with ETAP software, and under the light of the actual data of other lines that are about to be completed, load flow and short circuit analysis of the planned line has been carried out by creating different operating scenarios to provide integration. While the obtained results are given comparatively, analysis of the proposed scenarios, continuity of the operation, possible performances of the system are examined therefore adequate suggestions that will reduce the cost are presented with the findings.

Keywords: Rail Systems, Load Flow Analysis, Short Circuit Analysis, Model, ETAP.

1. Giriş

Dünya genelinde şehirleşmenin artması ile birlikte kent içi yolculuklarda hız, konfor ve süreklilik önemli bir hale gelmiştir. Büyükşehirlerde kent içi ulaşımda artık bir zorunluluk haline gelen raylı sistemlerin tercih oranı İstanbul'da yaklaşık %35'tir. Aynı şehirde karayolu taşımacılığının tercih oranı ise %61,9 gibi yüksek bir seviyededir [1]. Zaman içinde ülkelerin gelişme seviyeleriyle doğru orantılı olarak artan demiryolu yatırımları şehirlerdeki kent nüfusu için verimli, hızlı ve yüksek taşıma kapasiteli ulaşımda büyük öneme sahiptir. Günümüzde İstanbul genelinde 233,05

Atıf için/Cite as: M. Can, N. Yörükeren, "Kent içi raylı sistemlere yeni hat entegrasyonunda işletme modellerinin analizi," *Demiryolu Mühendisliği*, no. 13, pp. 1-13, Jan. 2021. doi: 10.47072/demiryolu.773440

km uzunluğunda kent içi raylı sistem işletmesi bulunmaktadır. Sistem içerisinde yaklaşık 200 istasyon, 1200'ün üzerinde araç ile her gün 2,5 milyonun üzerinde yolcu güvenli bir şekilde taşınmaktadır [2]. Merkezi ve yerel yönetimler, yatırımlarının büyük çoğunluğunu raylı ulaşıma kaydırırken bir yandan da mevcut hatlarına yenilerini eklemek istemektedir. İstanbul'da yapımı devam eden inşaat halinde 221,70 km raylı sistem hattı bulunmaktadır. Tamamlanacak bu hatlarla beraber hedeflenen hat uzunluğu 500 km'ye yaklaşmaktadır [3].

Toplu ulaşımda, raylı sistem yatırımları en yüksek bütçe harcanan kalemlerdendir. Bu sebeple, bu tür önemli altyapı proje ve hizmetlerine ilişkin fizibilite çalışmalarının doğru saptanması ve sonlu ekonomik sermayelerin en fazla fayda getirecek biçimde kullanılması çok önemlidir. Bunun sonucunda hatalı kararlarla yapılan herhangi bir ulaştırma projesinin bilahare yapılacak raylı sistem yatırımlarının yerini ve biçimini bağlayıcı etkileri olacaktır. Yerel yönetimler ulaşım altyapısı yapım kararı alırken, sistemin ekonomik olmasına da gereken önemi vermek zorundadır [4].

Raylı sistem yatırımları yapılırken, fizibilite aşamasından başlamak üzere sürecin tamamında dikkat edilmesi gereken bir hayli husus bulunmaktadır. Yerel ve genel yönetimlerin kaynaklarını verimli ve etkin kullanabilmesi için, süreç öncesinde çalışmaların eksiksiz ve teknik açıdan doğru olması oldukça önemlidir. Bu tür projelerde gelişmiş ve basmakalıp çalışmaların yapılması, fizibilite aşamasından başlayıp işletmenin uzun yıllar sonraki çalışmalarında bile ortaya çıkacak verimsizliği arttıracak, bu sebeple de sistem istenmeyen sonuçlar ve ek sorunlar yaratacaktır. Bu durum da dolaylı yoldan ülke ekonomisini kötü etkileyecektir. Dolayısıyla demiryolu sistemlerinde enerji sürekliliğini temin ederek arızalardan etkilenmeyen verimli bir seyahat ortamı yaratmak için yedekleme yapmak zaruri bir durumdur. En verimli besleme modellerinin belirlenmesi ve enerji tüketiminin asgari seviyede tutulması için simülasyon yazılımları efektif olarak kullanılmalıdır.

ETAP yazılımı kullanılarak üretim, dağıtım ve iletimi ilgilendiren her konuda olmak üzere elektriğin her alanında modelleme yapmak mümkündür. Bu yazılım elektrik mühendislerinin her türlü analizi ve tasarımı yapmalarına olanak sağlarken, her türlü endüstriye ve sektöre, uygun elektrik analiz modülleri sunmaktadır. Sektörlerin arasında yer alanlar; enerji üretim şirketleri, petrol sektörü, büyük endüstriyel kurumlar, iletim sistemleri, dağıtım sistemleri, orta ve küçük endüstriyel kurumlar, fabrikalar ve inşaat alanlarıdır. Literatürde ETAP yazılımı kullanılarak yapılan birçok çalışma mevcuttur. İstanbul metroları M1 hattında yapılan çalışmada M1A Yenikapı-Atatürk Havalimanı ve M1B Yenikapı-Kirazlı hafif raylı sistem metro hattının orta gerilim elektrifikasyon sisteminin ETAP programında modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan model çalışması sonucunda besleme noktalarının yüklenmeleri ve ilgili noktaların yerel elektrik dağıtım şirketi ile olan sözleşme güçleri karşılaştırılarak gelecekte sözleşme güçlerinin hesaplanması konusunda yaklaşımda bulunulmuştur [5]. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalardan birinde 22 kV gerilim seviyesine sahip bir dağıtım sisteminin yük akış analizi yapılarak gerekli iyileştirmeler ETAP ile modellenmiştir [6]. Bir başka çalışmada 132 kV gerilim seviyesine sahip bir dağıtım merkezinin modellenmesi yapılarak, güç akış analizi sonucunda gerilim düşümü olan kısımların iyileştirilmesi yapılarak, revizyonu gerçekleştirilmiştir [7]. İran Tahran metrosu üzerinde yapılan bir çalışmada ise metro hatlarındaki yük profillerini geliştirerek, sistem/ekipman güç kayıplarını en aza indirgeyip dağıtım elemanlarının optimum çözümle ETAP ile yerleri belirlenmiştir [8]. Amerika Arkansas Üniversitesi'nde yapılan bir tez çalışmasında 138/69 kV trafo merkezinin yük akış analizleri farklı senaryolar kullanarak ETAP ile incelenmiştir. Sistem sonuçları çeşitli iyileştirmeler için kullanılmış olup, sistemde var olmayan şönt kapasitörlerin eklenmesi, endüktif elemanlardan kaynaklanan kayıpları önlemede yardımcı olduğu ve şebekenin gerilim profilini geliştirdiği saptanmıştır [9]. Başka bir makalede Hong Kong toplu taşıma sisteminin farklı zamanlarda açılan fazları ele alınarak güç kaynağı sisteminin iyileştirilmesi irdelenmiştir. Tren sefer sıklığı 90 saniye seçilerek hat geriliminin en kötü senaryoda dahi 1100 V' un altına düşmemesi sağlanmış, tasarım buna göre şekillenmiştir [10]. Bir başka çalışmada ise

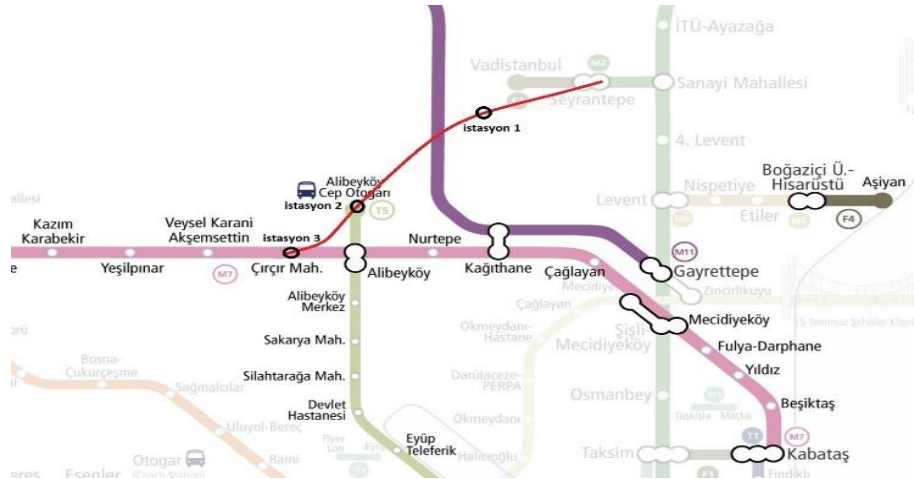
raylı sistem hattı özelinde THD (toplam harmonik distorsiyon) değerini azaltmak için çok darbeli doğrultucuların farklı faz kaydırma transformatörleri ile kullanımı konusunda çalışma yapıp, ETAP yardımı ile tasarlanan doğrultucularda darbe sayısı arttırıldıkça THD değerinin azaldığı gösterilmiştir [11]. Hindistan Satana bölgesindeki 220 kV'luk trafo merkezinden toplanan anlık fider akımları, hat gerilimleri, aktif ve reaktif güç değerleri ETAP ile oluşturulan şebeke modelinin analiz sonuçlarıyla karşılaştırıldıktan sonra sonuçlar arasındaki farkın bara gerilimlerinde %1'den, tüm yük akış sonucunda ise %2'den küçük olduğu görülmüştür [12]. Kent içi raylı sistemlerde güç dağıtım sisteminin güvenilirliğini arttırmak için, tasarım sırasında yük akış analizi yapılması önemlidir. Tebriz bölgesindeki bir başka çalışmada raylı sistem hattını ele alan makalede cer sistemini besleyen fider bağlantılarının arıza analizi gerçekleştirilmiştir [13].

Literatürde yer alan bu çalışmalardan hareketle, raylı sistemlerin ilerleme kaydettiği ülkelerde ETAP gibi çevrimdışı yazılımlar kullanılarak, işletme esnasında sistemin beklenmeyen durumlar yaratmaması ve doğru besleme senaryoları oluşturulması süreklilik açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla İstanbul'daki dört metro ve bir tramvay hattı birbirleriyle entegre olacak şekilde üç istasyonlu yeni bir hat modellenmiştir. Yapılan bu çalışmanın literatürden ayrıştığı nokta sadece tek bir metro hattının değil, birbirleriyle entegre olan birden fazla raylı sistem hattının modelde bulunması ve sistemin bir bütün olarak ele alınmasıdır. İstanbul gibi 16 milyon nüfusa sahip büyük bir metropolde raylı sistem yatırımları arttıkça hatların birbirleriyle entegre olma durumları kaçınılmaz olacaktır. Bu nedenle yeni demiryolu yatırımlarında ve entegre olacak hatlarda; güç ihtiyaçları, besleme noktaları, ekipman seçimleri farklılık gösterecektir. Çalışmanın değindiği bir diğer nokta ise, uygulamada geçmişten günümüze sıra gelen ve herhangi bir teknik boyutlandırmaya dayanmayan orta gerilim kablo kesitlerinin belirlenmesi ve kısa devre analizlerinin gerçekleştirilmesidir. Bu ekipmanın mevcut şartlarda büyük kesitlerde seçildiği ve yapılan analiz sonuçlarında aynı çeşit bir alt kesit kablo kullanılmasının elektriksel açıdan sorun yaratmadığı, aksine yatırım maliyetini düşürdüğü saptanmıştır. Bu çalışmada var olan gerçek bir raylı sistem hattına ait parametreler ile inşaatı devam eden ve önümüzdeki aylarda işletmeye sunulacak olan hatların uygulama projelerinin verileri kullanılmıştır.

2. Sistem Tanıtımı

2.1. Hat tanıtımı

Çalışmada tasarlanan hat, İstanbul'da hâlihazırda işletilmekte olan Yenikapı-Hacıosman-Seyrantepe (M2) Metro hattının uzatması niteliğinde planlanan projedir. Bu sebeple sistem bütünlüğü ve tasarım açısından Yenikapı-Hacıosman-Seyrantepe (M2) metrosunun sistem parametreleri ve tasarım kriterleri esas alınmıştır. Bu hat, mevcut Seyrantepe istasyonundan sonra yaklaşık 6,7 km uzunluğunda olup Sarıyer, Kağıthane ve Eyüp ilçelerine hizmet etmesi planlanmaktadır. Söz konusu metro hattı, Sarıyer ilçesinde mevcut bulunan Seyrantepe istasyonundan başlayıp, Hamidiye Mahallesi, Güzeltepe Mahallesinden geçerek Eyüp ilçesinde yer alan yapımı devam eden Kabataş-Mahmutbey Metrosu (M7) Çırçır İstasyonu'nda sonlanmaktadır. Yapımı düşünülen hat, Çırçır İstasyonu'nda yapım aşamasındaki Kabataş-Mahmutbey Metrosu (M7) ile, Alibeyköy Cep Otogarı istasyonunda Eminönü-Alibeyköy tramvayı (T5) ile aktarma sağlayacaktır [14].



Şekil 1. Çalışmaya konu olan 3 istasyonlu hat

2.2 Elektriksel besleme sistemi

Çalışmada planlanan metro hattı OG güç dağıtım sistemi, toplam iki noktadan alınan 34,5 kV gerilim seviyesindeki ana enerjinin, iç ihtiyaç ve cer gücü yüklerinin beslenmesi amacıyla, bütün sistem boyunca dağıtılmasını sağlamak üzere kurulacaktır. Ana enerji temininin entegre olunacak Yenikapı-Hacıosman (M2) ve Kabataş-Mahmutbey (M7) hatlarından sağlanması planlanmış olup, ilk aşamada TEİAŞ'tan enerji alımı öngörülmemiştir.

Yenikapı-Hacıosman (M2) Metro Hattı Seyrantepe istasyonu OG şalt donanımı kanalıyla gelen ana enerji İstasyon1 OG şalt donanımından sisteme giriş yaparken, Kabataş-Mahmutbey (M7) Metro Hattı Çırçır Mahallesi istasyonu OG şalt donanımı kanalıyla gelen ana enerji İstasyon3 OG şalt donanımından sisteme giriş yapacaktır. Söz konusu bağlantıların tünel yapılarına tesis edilmesi planlanmış ve çift fiderli olarak tasarlanmıştır.

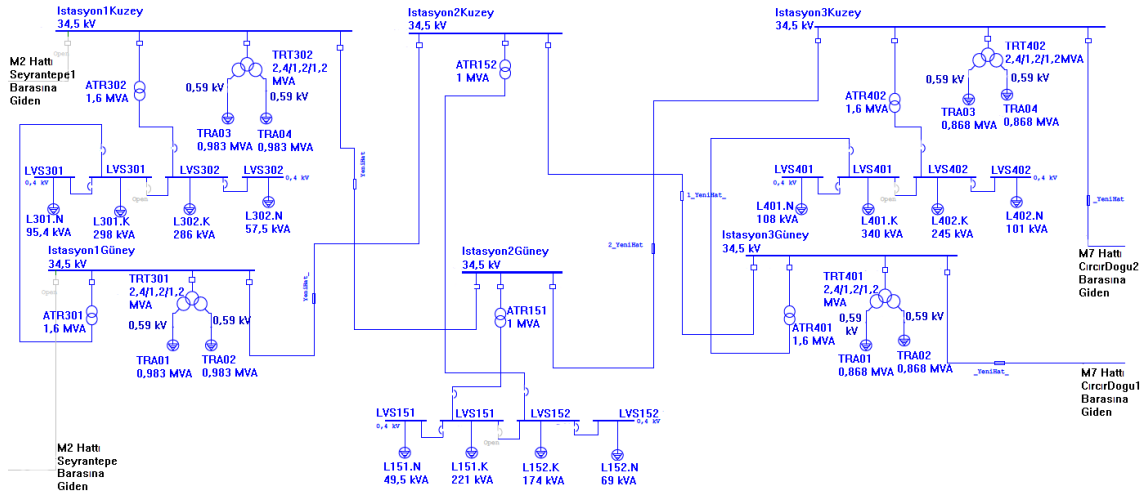
Yenikapı-Hacıosman (M2) Metro Hattı'na enerji veren mevcut TEİAŞ merkezlerinden Seyrantepe istasyonu şalt donanımına enerji akışı yönünden en yakın merkez Levent trafo merkezidir. Kabataş-Mahmutbey (M7) Metro Hattı'na enerji veren mevcut TEİAŞ merkezlerinden Çırçır İstasyonu OG şalt donanımına enerji akışı yönünden en yakın merkez ise Küçükköy trafo merkezidir.

İlgili hatların enerji iletim yolları ve gerilim seviyeleri farklılık göstermektedir. Burada M2 ve M6 hattı 750 V DC 3. ray iletim sistemi ile beslenirken, M7 hattı 1500 V DC rijit kataner sistem ile ve T5 tramvay hattı da 600 V APS sistemi ile beslenmektedir. Çalışmaya konu olan üç istasyonlu hat M2 hattının devamı niteliğinde aynı araçları kullanarak 750 V DC 3.ray iletim sistemi ile beslenecektir. Sistem kapsamında her bir istasyona çift OG enerji kaynağı/fideri temin edilecek şekilde tasarım yapılmış ve kaynak yedekliliği sağlanmıştır. Hat boyunca tesis edilecek olan çift OG kaynağı/fideri istasyonlara girdi-çıkıtı yaparak OG ring sistemini teşkil edecektir. Besleme sisteminin çift fiderli olması, beslenme noktalarındaki arıza durumlarına göre işletmenin ilk ve ara dönemleri için yedekli çalışmayı da mümkün kılacak bir alt yapı sunmaktadır.

3. Modelleme ve Analiz Çalışmaları

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, bu çalışma için yük akış analizleri ve kısa devre analizleri ETAP yazılımı üzerinde gerçekleştirilecektir. Program sayesinde güç sistemlerinin tasarımı, simülasyonu ve korunması detaylı bir şekilde yapılabilir. Yazılım ile sadece trafo merkezlerinin tasarımı değil aynı zamanda elektriğin üretimi, iletimi ve dağıtımını kapsayan alanlarda da çalışmalar yapılabilmektedir [9].

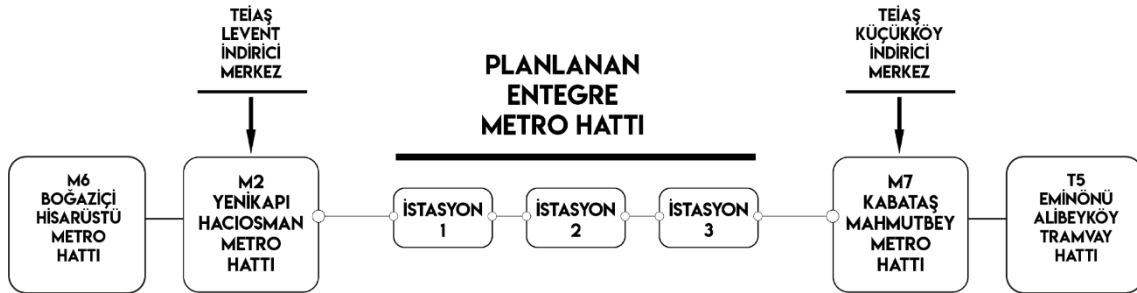
ETAP yazılımında, biri planlanan olmak üzere toplamda 4 metro ve 1 tramvay hattının (M2, M6, M7, T5), planlanan metro hattına elektriksel olarak bağlantısı olan istasyonların tümü modellenmiştir. Modelleme yapılırken Yenikapı-Hacıosman (M2) Metro Hattı, Levent-Boğaziçi Üni./Hisarüstü (M6) hattı ve Kabataş-Mahmutbey (M7) Metro Hattının elektriksel ekipmanları gerçek etiket değerleri ve kodlamaları (orta gerilim baraları ve kabloları, transformatörler) kullanılmıştır. Yapımı devam eden ve 2020 yılının sonuna doğru açılması planlanan Eminönü-Alibeyköy (T5) Tramvay hattının ise uygulama proje verileri dikkate alınmıştır. Yazılım içerisinde oluşturulan OG kesicilerin açık-kapalı konumları kullanılarak işletme senaryoları ETAP ile oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolarda transformatör ve kablo yüklenme oranları, OG baraların aktif reaktif güç ve akım değerleri, OG baralarda oluşacak olan maksimum kısa devre akımları ayrı ayrı irdelenmiştir. Elde edilen bu değerler dışında, mevcut hatlarda istasyonlar arası kullanılan XLPE kablo kesit değerinden daha düşük bir kesit değeri seçilerek (120 mm²) yük akış ve kısa devre analizleri tekrar yapılmıştır.



Şekil 2. Trafo merkezleri tek hat şeması

3.1. TEİAŞ girişlerinin enerjili-enerjili olduğu durum (Senaryo1)

Orta gerilim sisteminde arıza olmadığı ve tüm ana enerji giriş noktalarının (Levent ve Küçükköy 154/34,5 kV TEİAŞ indirici merkezleri) enerjili olduğu, planlanan hattın 1. istasyonu Levent indirici merkezinden M2 hattının Gayrettepe, Levent, 4. Levent, Sanayi ve Seyrantepe istasyonlarıyla bağlantılı şekilde beslenmektedir. 2. ve 3. İstasyon ise Küçükköy indirici merkezinden M7 hattının Kazım Karabekir, Yeşilpınar, Veysel Karani, Çırcır Mahallesi, Alibeyköy, Nurtepe istasyonlarıyla bağlantılı şekilde beslenmektedir.



Şekil 3. Senaryo1 durumunda sistemin sadeleştirilmiş OG tek hat şeması

Şekil 3' te birbirleriyle entegre olan bütün hatların 154/34,5 kV indirici merkezleri dâhil olmak üzere basitleştirilmiş tek hat diyagramı verilmiştir. Mevcut durumda bu hatları besleyen başka indirici merkezler bulunmasına rağmen, planlanan bu hatta etki edecek ve besleme sağlayacak indirici merkezler üzerinden analiz yapılmıştır.

Tablo 1. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo ile yüklenme oranları

Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2	185 mm ² Yüklenme Oranı (%)	120 mm ² Yüklenme Oranı (%)
İstasyon3Kuzey	M7CırcırDoğu2	8,80	11,30
İstasyon3Güney	M7CırcırDoğu1	9,10	11,70
İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney	0,90	1,20
İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey	1,00	1,30
Seyrantepe	İstasyon1Güney	8,90	11,40
Seyrantepe1	İstasyon1Kuzey	8,70	11,20

İki indirici merkezden de enerji alınabildiği bu durumda tüm sistem değerlendirildiğinde OG kabloları arasında planlanan hat dâhilinde maksimum yüklenmenin İstasyon3Güney ve M7CırcırDogu1 baraları arasındaki kabloda olduğu görülmüştür. Çalışmaya konu olan hattın diğer hatlara bağlı olan komşu istasyonlarının arasındaki kablolardan kesitlere göre ortalama 48,3 A akım geçerken bu senaryo için istasyonlar arası kablolarda maksimum yüklenme durumu sınır değerlerin içinde kalmaktadır [17].

Tablo 2. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında gerilim düşümü oranları

Ekipman Konumu	Bara Adı	Anma Gerilimi	185 mm ² ile Gerilim Düşümü Oranı (%)	120 mm ² ile Gerilim Düşümü Oranı (%)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	34,5 kV	0,77	0,81
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	34,5 kV	0,85	0,88
İstasyon 2	İstasyon2Güney	34,5 kV	0,36	0,37
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	34,5 kV	0,47	0,47
İstasyon 3	İstasyon3Güney	34,5 kV	0,46	0,47
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	34,5 kV	0,35	0,36

Tablo 2' de istasyon baraları gerilim düşüm oranları verilmiştir. Ana enerji besleme senaryosunda en fazla gerilim düşümü İstasyon 1 Kuzey barasında 185 mm² XLPE orta gerilim kablosu kullanıldığında 293,25 V değerinde ve 120 mm² aynı cins kablo kesiti kullanıldığında 303,6 V değerinde olmuştur. Bu sonuçlar kabul edilebilir sınır değerler içinde kalmaktadır [15].

Tablo 3. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo ile bara güç değerleri

Ekipman Konumu	Bara Adı	185 mm ² Kablo ile			120 mm ² Kablo ile		
		Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)	OG Bara Akımı (A)	Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)	OG Bara Akımı (A)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	2288	209	38,74	2286	209	38,73
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	2238	193	37,91	2237	193	37,91
İstasyon 2	İstasyon2Güney	252	86,04	4,47	252	86,02	4,47
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	226	76,93	4,02	226	77	4,02
İstasyon 3	İstasyon3Güney	2354	210	39,73	2353	210	39,73

İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	2290	177	38,58	2290	177	38,57
------------	----------------	------	-----	-------	------	-----	-------

TEİAŞ indirici merkez girişlerinin her ikisinin de enerjili olduğu bu senaryo da en fazla aktif gücün İstasyon 3' de 2354 kW değerinde olduğu ve bara güç değerlerinin kablo kesiti değişikliği ile kayda değer şekilde değişmediği görülmüştür.

Tablo 4. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları

Ekipman Konumu	Arıza Olan Bara Adı	185 mm ² Kablo ile	120 mm ² Kablo ile
		Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)	Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	6,67	6,59
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	8,87	8,70
İstasyon 2	İstasyon2Güney	9,90	9,77
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	9,90	9,77
İstasyon 3	İstasyon3Güney	10,87	10,85
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	10,87	10,85
Küçükköy İndirici Merkez	TEİAŞ_Küçükköy_OG	13,22	13,22
	TEİAŞ_Küçükköy_OG1	13,22	13,22
Levent İndirici Merkez	TEİAŞ_Levent_OG1	8,64	8,61
	TEİAŞ_Levent_OG2	13,14	13,14

OG baralarındaki maksimum 3 faz kısa devre akımlarının en büyük değerleri OG senaryoları için TEİAŞ Küçükköy OG ve TEİAŞ Levent OG baralarında gerçekleşirken Levent baralarında oluşan değer ayrımı, güçlerin %50 farklı olmasındandır.

Tablo 5. Senaryo 1 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında kablolarda oluşan maksimum kısa devre akım değerleri

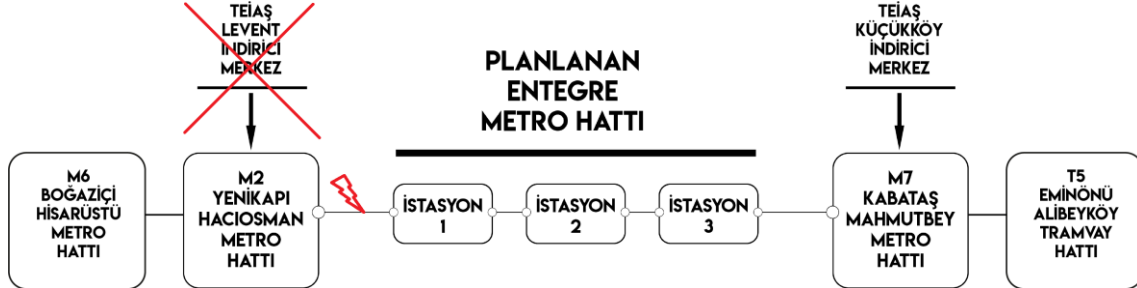
Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2	185 mm ² Kablo ile		120 mm ² Kablo ile	
		Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)		Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)	
		BOB1	BOB2	BOB1	BOB2
İstasyon3Kuzey	M7CırcırDoğu2	10,87	11,16	10,85	11,16
İstasyon3Güney	M7CırcırDoğu1	10,87	11,16	10,85	11,16
İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney	9,90	10,87	9,77	10,85
İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey	9,90	10,87	9,77	10,85
Seyrantep	İstasyon1Güney	7,42	6,67	7,42	6,59
Seyrantep1	İstasyon1Kuzey	10,29	8,87	10,29	8,70

BOB: Bağlı Olduğu Bara

Tablo 5'de; planlanan sistemde her bir OG kablosu için kablonun bağlı olduğu uçlarda/baralarda gerçekleşecek maksimum 3 faz kısa devre akımları verilmiştir. Tablo incelendiğinde maksimum 3 faz kısa devre akımlarının en büyük değerleri 11 kA seviyelerinde gerçekleşmektedir. Seçilen 185 mm² bakır XLPE tek damar kablonun 1 saniye için dayanabileceği maksimum akım değeri olan 26,5 kA'in ve 120 mm² bakır XLPE tek damar kablonun 1 saniye için dayanabileceği maksimum akım değeri olan 17,2 kA değerinin altında kalmaktadır [16].

3.2. Levent TEİAŞ girişlerinin arızalı- enerjili olduğu durum (senaryo2)

Bu senaryo orta gerilim sisteminde arıza olduğu Yenikapı-Hacıosman (M2) Metro Hattı tarafından (Levent 154/34,5 kV TEİAŞ indirici merkezi) enerji alınmadığı veya sistemde arıza olmayıp Yenikapı-Hacıosman (M2) Metro Hattı kaynağının yedekte beklediği durumdur. Bu senaryoda tüm sistem 3. istasyonun bulunduğu Kabataş-Mahmutbey (M7) Metro Hattı tarafından beslenmektedir.



Şekil 4. Senaryo2 durumunda sistemin sadeleştirilmiş OG tek hat şeması

Tablo 6. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo ile yüklenme oranları

Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2	185 mm ² Yüklenme Oranı (%)	120 mm ² Yüklenme Oranı (%)
İstasyon3Kuzey	M7CırcırDoğu2	17,5	22,5
İstasyon3Güney	M7CırcırDoğu1	17,9	23,00
İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney	9,7	12,5
İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey	9,7	12,4
İstasyon2Kuzey	İstasyon1Güney	8,7	11,2
İstasyon2Güney	İstasyon1Kuzey	8,9	11,4

Sadece tek taraftan enerji alınabildiği bu durumda tüm sistem değerlendirildiğinde OG kabloları arasında planlanan hat dâhilinde maksimum yüklenmenin İstasyon3Güney ve M7CırcırDoğu1 baraları arasındaki kabloda olduğu görülmüştür. Analiz edilen kabloların hiçbirinde kablolarda aşırı yüklenme durumu görülmemiştir. Çalışmaya konu olan hattın diğer hatlara bağlı olan komşu istasyonlarının arasındaki kablolardan kesitlere göre ortalama 94,65 A akım geçerken bu senaryo için istasyonlar arası kablolarda maksimum yüklenme durumu sınır değerlerin içinde kalmaktadır [17].

Tablo 7. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında gerilim düşümü oranları

Ekipman Konumu	Bara Adı	Anma Gerilimi	185 mm ² ile Gerilim Düşümü Oranı (%)	120 mm ² ile Gerilim Düşümü Oranı (%)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	34,5 kV	0,65	0,72
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	34,5 kV	0,52	0,59
İstasyon 2	İstasyon2Güney	34,5 kV	0,44	0,48
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	34,5 kV	0,57	0,61
İstasyon 3	İstasyon3Güney	34,5 kV	0,54	0,55
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	34,5 kV	0,41	0,43

Tablo 7' de istasyon baraları gerilim düşüm oranları verilmiştir. İkinci besleme senaryosunda en fazla gerilim düşümü İstasyon 1 Güney barasında 185 mm² XLPE orta gerilim kablosu kullanıldığında 224,25 V değerinde ve 120 mm² aynı cins kablo kesiti kullanıldığında 248,4 V değerinde olmuştur. Bu sonuçlar kabul edilebilir sınır değerler altında kalmaktadır [15].

Tablo 8. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo ile bara güç değerleri

Ekipman Konumu	Bara Adı	185 mm ² Kablo ile			120 mm ² Kablo ile		
		Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)	OG Bara Akımı (A)	Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)	OG Bara Akımı (A)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	2294	210	38,79	2290	210	38,77
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	2254	194	38,05	2251	194	38,02
İstasyon 2	İstasyon2Güney	2507	85,88	42,17	2505	85,83	42,14
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	2521	76,76	42,17	2519	85,43	42,43
İstasyon 3	İstasyon3Güney	4646	210	78,25	4643	210	78,21
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	4544	177	76,41	4541	177	76,37

TEİAŞ indirici merkez girişlerinin sadece birisinin enerjili olduğu bu senaryoda en fazla aktif gücün İstasyon 3' de 4643 kW değerinde olduğu ve bara güç değerlerinin kablo kesiti değişikliği ile kayda değer şekilde değişmediği görülmüştür.

Tablo 9. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları

Ekipman Konumu	Arıza Olan Bara Adı	185 mm ² Kablo ile	120 mm ² Kablo ile
		Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)	Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	8,29	7,96
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	8,29	7,96
İstasyon 2	İstasyon2Güney	10,09	9,95
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	10,09	9,95
İstasyon 3	İstasyon3Güney	11,10	11,07
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	11,10	11,07
Küçükköy İndirici Merkez	TEİAŞ_Küçükköy_OG	13,45	13,45
	TEİAŞ_Küçükköy_OG1	13,45	13,45

OG baralarındaki maksimum 3 faz kısa devre akımlarının en büyük değerleri OG senaryoları için TEİAŞ Küçükköy OG baralarında gerçekleşmiştir.

Tablo 10. Senaryo 2 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında kablolarda oluşan maksimum kısa devre akım değerleri

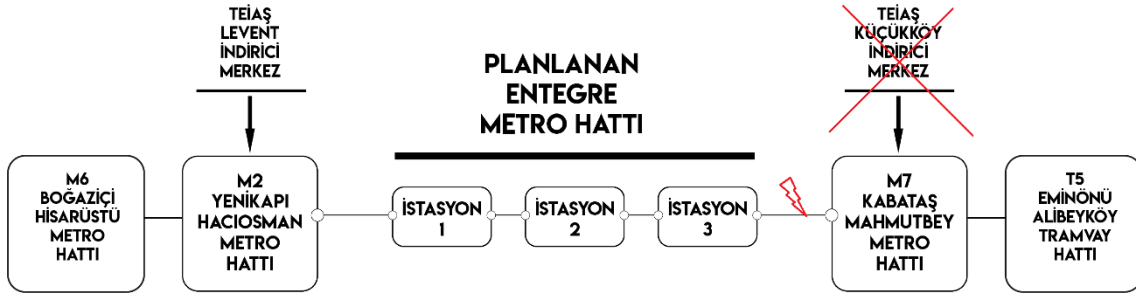
Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2	185 mm ² Kablo ile		120 mm ² Kablo ile	
		Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)		Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)	
		BOB1	BOB2	BOB1	BOB2
İstasyon3Kuzey	M7CırcıDoğu2	11,10	11,40	11,07	11,40
İstasyon3Güney	M7CırcıDoğu1	11,10	11,40	11,07	11,40
İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney	10,09	11,10	9,95	11,07
İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey	10,09	11,10	9,95	11,07
İstasyon1Kuzey	İstasyon2Güney	8,29	10,09	7,96	9,95
İstasyon2Kuzey	İstasyon1Güney	10,09	8,29	9,95	7,96

BOB: Bağlı Olduğu Bara

Tablo 10’ da; planlanan sistemde her bir OG kablosu için kablonun bağlı olduğu uçlarda/baralarda gerçekleşecek maksimum 3 faz kısa devre akımları verilmiştir. Tablo incelendiğinde maksimum 3 faz kısa devre akımlarının en büyük değerleri 11 kA seviyelerinde gerçekleşmektedir. Bir önceki senaryoda olduğu gibi bu durumda da iki OG kablosunun dayanabileceği maksimum akım değeri sınır değerinin altında kalmaktadır [16].

3.3. Küçükköy TEİAŞ girişlerinin enerjili-arızalı olduğu durum (senaryo3)

Orta gerilim sisteminde arıza olduğu Kabataş-Mahmutbey (M7) Metro Hattı tarafından (Levent 154/34,5 kV TEİAŞ indirici merkezi) enerji alınmadığı veya sistemde arıza olmayıp Kabataş-Mahmutbey (M7) Metro Hattı kaynağının yedekte beklediği durumdur. Bu senaryoda tüm sistem 1. istasyonun bağlantılı olduğu Yenikapı-Hacıosman (M2) Metro Hattı tarafından beslenmektedir.



Şekil 5. Senaryo3 durumunda sistemin sadeleştirilmiş OG tek hat şeması

Tablo 11. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo ile yüklenme oranları

Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2	185 mm ² Yüklenme Oranı (%)	120 mm ² Yüklenme Oranı (%)
İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney	8,20	10,50
İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey	7,80	10,00
Seyrantepe	İstasyon1Güney	17,90	22,90
Seyrantepe1	İstasyon1Kuzey	17,40	22,30
İstasyon2Kuzey	İstasyon1Güney	8,80	11,30
İstasyon2Güney	İstasyon1Kuzey	9,10	11,60

Bir önceki alternatifte olduğu gibi sadece tek taraftan enerji alınabildiği bu durumda OG kabloları arasında maksimum yüklenmenin (M2) hattına ait Seyrantepe barasıyla planlanan hatta ait İstasyon1Güney barası arasındaki kabloda olduğu görülmüştür. Analiz edilen ilgili istasyonların hiçbirinde kablolarda aşırı yüklenme durumu görülmemiştir. Çalışmaya konu olan hattın diğer hatlara bağlı olan komşu istasyonlarının arasındaki kablolardan kesitlere göre ortalama 94,24 A akım geçerken bu senaryo için istasyonlar arası kablolarda maksimum yüklenme durumu sınır değerlerin içinde kalmaktadır [17].

Tablo 12. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında gerilim düşümü oranları

Ekipman Konumu	Bara Adı	Anma Gerilimi	185 mm ² ile Gerilim Düşümü Oranı (%)	120 mm ² ile Gerilim Düşümü Oranı (%)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	34,5 kV	0,92	0,99
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	34,5 kV	0,98	1,05
İstasyon 2	İstasyon2Güney	34,5 kV	1,06	1,16
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	34,5 kV	0,99	1,10

İstasyon 3	İstasyon3Güney	34,5 kV	1,02	1,14
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	34,5 kV	1,09	1,20

Üçüncü besleme senaryosunda en fazla gerilim düşümü İstasyon 2 Güney barasında 120 mm² kablo kesiti kullanıldığında 400,2 V değerinde olmuştur.

Tablo 13. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo ile bara güç değerleri

Ekipman Konumu	Bara Adı	185 mm ² Kablo ile			120 mm ² Kablo ile		
		Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)	OG Bara Akımı (A)	Aktif Güç (kW)	Reaktif Güç (kVAr)	OG Bara Akımı (A)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	4611	209	77,95	4603	209	77,87
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	4492	192	75,98	4485	192	75,91
İstasyon 2	İstasyon2Güney	2257	160	38,28	2252	172	38,25
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	2328	185	39,47	2322	197	39,44
İstasyon 3	İstasyon3Güney	2103	208	35,74	2098	207	35,69
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	2008	174	34,10	2003	174	34,06

İndirici merkez girişlerinden sadece birisinin aktif olduğu bu senaryo da en fazla aktif gücün İstasyon 1' de 4611 kW değerinde olduğu ve bara güç değerlerinin kablo kesiti değişikliği ile kayda değer şekilde değişmediği görülmüştür.

Tablo 14. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında baralarda oluşan maksimum kısa devre akımları

Ekipman Konumu	Arıza Olan Bara Adı	185 mm ² Kablo ile	120 mm ² Kablo ile
		Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)	Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)
İstasyon 1	İstasyon1Güney	6,68	6,6
İstasyon 1	İstasyon1Kuzey	8,87	8,7
İstasyon 2	İstasyon2Güney	7,41	7,09
İstasyon 2	İstasyon2Kuzey	5,85	5,67
İstasyon 3	İstasyon3Güney	5,54	5,34
İstasyon 3	İstasyon3Kuzey	6,92	6,55
Levent İndirici Merkez	TEİAŞ_Levent_OG1	8,64	8,64
	TEİAŞ_Levent_OG2	13,14	13,14

Tablo 14. incelendiğin orta gerilim baralarındaki maksimum 3 faz kısa devre akımlarının en büyük değerleri bu senaryo için TEİAŞ Levent OG baralarında gerçekleşmiştir.

Tablo 15. Senaryo 3 istasyonlar arası 185 ve 120 mm² XLPE tek damar kablo kullanımında kablolarda oluşan maksimum kısa devre akım değerleri

Bağlı Olduğu Bara-1	Bağlı Olduğu Bara-2	185 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)		120 mm ² Kablo ile Maksimum Kısa Devre Akımı (kA)	
		BOB1	BOB2	BOB1	BOB2
İstasyon2Kuzey	İstasyon3Güney	5,85	5,54	5,67	5,34
İstasyon2Güney	İstasyon3Kuzey	7,41	6,92	7,09	6,55
Seyrantepe	İstasyon1Güney	7,44	6,68	7,44	6,60
Seyrantepe1	İstasyon1Kuzey	10,29	8,87	10,29	8,7

İstasyon1Kuzey	İstasyon2Güney	8,87	7,41	8,70	7,09
İstasyon2Kuzey	İstasyon1Güney	5,85	6,84	5,67	6,60

BOB: Bağlı Olduğu Bara

Tablo 15’ de; planlanan sistemde her bir OG kablosu için kablonun bağlı olduğu baralarda gerçekleşecek maksimum 3 faz kısa devre akımları verilmiştir. Tablo incelendiğinde maksimum 3 faz kısa devre akımlarının en büyük değerleri 10 kA seviyelerinde gerçekleşmektedir. Bir önceki senaryoda olduğu gibi bu durumda da iki OG kablosunun dayanabileceği maksimum akım değeri sınır değerinin altında kalmaktadır [16].

4. Sonuç

Gün geçtikçe kent içi raylı sistemler büyükşehirlerin vazgeçilmez ulaşım aracı olma yolunda hızla ilerlemektedir. Toplu ulaşımında yatırım maliyetleri arasında en yüksek bütçe olarak yer alan bu sistemlerin oluşumu, hatların fizibilite aşamasında dahi büyük önem arz etmektedir. Planlama aşamalarında yanlış seçimler yapılmasını önlemek adına, ekipman seçimleri, sistem gelişimleri açısından simülasyon programlarını kullanmak verimli olacaktır. Bu bilgilerden hareketle, bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, tek bir hat yerine birden fazla raylı sistem hattının entegre olduğu durumlar incelenmiş ve farklı besleme senaryoları oluşturulmuştur.

Enerji giriş alternatifleri oluşturulan bu hattın, bahsi geçen bütün senaryolardaki yük akış analiz sonuçları göz önüne alındığında, sistemin yeni bir indirici merkeze gerek duymadığı ve mevcutta var olan M2 ve M7 hatlarının indirici merkezlerinin bu raylı sistem hattını besleme konusunda yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

Tüm senaryolarda ki OG kabloların maksimum yüklenme durumları her iki kesit büyüklüğündeki (120 ve 185 mm²) XLPE kablo için incelendiğinde, planlanan ve mevcut hatların istasyonlar arası kablolarında aşırı yüklenme durumu görülmemiştir. İstanbul kent içi raylı sistem metro ağlarında istasyonlar arası kullanılan kablo kesitinin şu ana kadar en düşük 185 mm² olduğu düşünüldüğünde yapılan yük akış ve kısa devre analizleri sonucunda 120 mm² kesitli kablonun planlanan bu hat için da uygun ve kullanılabilir olduğu saptanmıştır.

İlerleyen yıllarda açılması planlanan yeni metro hatları göz önüne alındığında, bundan sonra yapılacak çalışmalarda sadece tek bir hattın değil, ilgili hat ile entegre olan tüm raylı sistem hatlarının verilerinin birleştirilmesi ve oluşacak her senaryonun tüm hatları ilgilendireceği unutulmadan analizler yapılmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan raylı sistem tesislerinin modellenmesi konusunda desteklerini esirgemeyen Metro İstanbul A.Ş. Tasarım Hizmetleri Müdürlüğü ve Ender Güzeller’e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] İstanbul İstatistik Ofisi, "İstanbul Ulaşım Bülteni" Haziran, 2020. [Online] Available: <https://istatistik.istanbul/bulten.html?id=28> [Accessed June 21,2020].
- [2] Metro İstanbul A.Ş., "Faaliyet Raporu 2018". [Online] Available: https://www.metro.istanbul/icerik/faaliyet_raporlari [Accessed June 22,2020].
- [3] Metro İstanbul A.Ş., [Online] Available: <https://www.metro.istanbul> [Accessed June 22,2020].
- [4] M. T. Dündar, Z. Öztürk, “Metro sistemlerinin yapım ve işletme maliyetleri optimizasyonu için bir çalışma,” *Teknik Dergi*, no. 27, pp. 7659-7668, 2016.

- [5] F. Karakuş, "Raylı Sistemlerde Orta Gerilim Elektrifikasyon Sisteminin Modellenmesi Ve Besleme Senaryolarının Belirlenmesi," Yüksek lisans tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2017.
- [6] N. M. Mahdi, "Power flow analysis of rafah governorate distribution network using etap software," *International Journal of Physical Sciences*, vol. 1(2), pp. 019-026, Jun. 2016.
- [7] R. Kapahi, "Load flow analysis of 132 kV substation using etap software," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 4, Issue 2, Feb. 2013.
- [8] M. Ghiasi, E. Ahmadinia and R. Ghiasi, "A case study of modeling, simulation and load flow assessment in the power distribution network of tehran metro using etap," *International Journal of Engineering and Future Technology*, vol. 16, no 3, 2019.
- [9] V. A. Gomez, "Load flow analysis of 138/69 kV substation using electrical transient & analysis program (etap)" Bachelor Thesis, Dept. Elect. Eng., University of Arkansas, Fayetteville, 2019.
- [10] P. Lawton and F.J. Murphy, "Hong Kong mass transit railway power supply system," *IEE Proceedings C - Generation, Transmission and Distribution* vol. 133, no 7, Nov. 1986.
- [11] K. Gamit and K. Chaudhari, "Multi pulse rectifier using different phase shifting transformers and its thd comparison for power quality issues," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 03, no 01, Jan. 2016.
- [12] K. Natkar and N. Kumar, "Load flow analysis of 220/132 kV substation using etap" *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 02, no 03, Jun. 2015
- [13] F. Shahnia, S. Tizghadam and S. H. Hosseini, "Power distribution system analysis of urban electrified railways" [Online.] Available: http://www.emo.org.tr/ekler/16e5cf0acb7e553_ek.pdf [Accessed April 6, 2020]
- [14] Metro İstanbul A.Ş., "İstanbul Raylı Sistemler Gelecek Vizyonu Haritası". [Online] Available: <https://www.metro.istanbul/YolcuHizmetleri/AgHaritalari> [Accessed April 14,2020].
- [15] "Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği". Nov., 2000. [Online]. Available: http://www.emo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=53 [Accessed March 10, 2020].
- [16] Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects, IEEE Standard 60949:1988/AMD1:2008.
- [17] "Nexans Orta Gerilim Yeraltı Güç Kabloları". [Online]. Available: https://www.nexans.com.tr/eservice/Turkeytr_TR/navigate_20384/YXC7V_TSE_N2XSY_IEC_18_30_kV_.html [Accessed August 1,2020].

Özgeçmiş



Mehmet CAN

Lisans eğitimini Kocaeli Üniversitesinde tamamlamıştır. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir. 2018 yılından bu yana İBB Metro İstanbul A.Ş. Tasarım Hizmetleri Müdürlüğü'nde Elektrik Tasarım Mühendisi olarak çalışmaktadır.

E-Posta: mehmetcan.mias@gmail.com



Nuran YÖRÜKEREN

10 Mayıs 1964 Düzce doğumlu, Doç. Dr. Nuran YÖRÜKEREN 1989 yılında Y.Ü. FBE Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek lisansını, 1994 yılında KOÜ FBE Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda doktorasını tamamlamıştır. KOÜ Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.

E-Posta: nurcan@kocaeli.edu.tr

Beyanlar:

Bu makalede bilimsel araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Tüm yazarların eşit oranda katkısı olmuştur.